Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. E. Bock

Veränderungen von Kraft und Durchblutung der Unterarmmuskulatur bei isometrischem Training

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Manfred Karl Neher
aus Buchau (Württ.)

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543901_0047

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. E. Bock

Veränderungen von Kraft und Durchblutung der Unterarmmuskulatur bei isometrischem Training

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Manfred Karl Neher
aus Buchau (Württ.)

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. W. Graumann

1. Berichterstatter: Professor Dr. E. Stein
(Professor Dr. H.E. Bock)
2. Berichterstatter: Professor Dr. E. Betz

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

Meinen Eltern,

die mir das Medizinstudium ermöglichten,

in großer Dankbarkeit gewidmet.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINLEITUNG	1
Methodik und Untersuchungsgang	2
Ergebnisse	3
1. Unterarmumfänge	3
2. Kraft der Streckmuskulatur	4
3. Kraft der Beugemuskulatur	4
4. Ruhedurchblutung	4
5. Reaktive Hyperämie	4
6. Durchblutung nach Belastung	5
7. Durchblutung nach Belastung und arterieller Drosselung	5
Besprechung der Ergebnisse	5
Zusammenfassung	17
Tabellen und Kurven	18
Literatur	22

E I N L E I T U N G

Untersuchungen über die Einflüsse des Muskeltrainings auf das Herz-Kreislaufsystem haben gezeigt, daß in Ruhe die Herzfrequenz, das Schlagvolumen und somit das Herzzeitvolumen erniedrigt sind und die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz aufgrund einer besseren peripheren Ausnutzung zunimmt. Während Belastung kann das trainierte Herz infolge Hypertrophie der Herzmukulatur größere Arbeit länger leisten. Dieses trainierte Herz hat ein vergrößertes Restblutvolumen, das bei Belastung sofort zur Verfügung steht. Das Atemvolumen ist in Ruhe vermindert, das inspiratorische Reservevolumen deutlich erhöht, die Vitalkapazität vergrössert (17, 32, 33, 36, 38, 49).

Die ersten Untersuchungen über die Auswirkung des Muskeltrainings auf spezielle Muskelgruppen der Extremitäten haben sich auf die Zunahme der Muskelmasse und Muskelkraft bezogen (15, 22, 24 , 25, 29, 41, 44).

Der Anzahl und Neuausbildung von Kapillaren wurde besondere Bedeutung beigemessen (34, 45, 46, 57, 58). In letzter Zeit interessierten vor allem Veränderungen, die im Stoffwechsel der arbeitenden Muskulatur eintreten (11, 27, 30, 31).

Die Möglichkeit durch gezieltes Muskeltraining einen Einfluß auf die Muskelatrophie und auf die krankhafte herabgesetzte Durchblutung peripherer Gefäßgebiete zu erreichen, hat therapeutische Bedeutung erlangt. Da die Kenntnisse über die Auswirkung eines Muskeltrainings auf die Kreislaufperipherie noch lückenhaft sind, sollen in der vorliegenden Arbeit mit einer quantitativen unblutigen Methode der Durchblutungsmessung die Veränderungen der Extremitätendurchblutung im Laufe eines isometrischen Muskeltrainings aufgezeigt werden (3, 25, 49).

Methodik und Untersuchungsgang.

Die Untersuchungen wurden an 21 männlichen Versuchspersonen im Alter zwischen 19 und 24 Jahren vorgenommen, die kreislaufgesund und nicht trainiert waren. 19 der Probanden waren Rechtshänder, 2 Linkshänder. Die Messungen wurden von November 1966 bis März 1967 durchgeführt.

Das Muskeltraining wurde an der Unterarmmuskulatur des rechten Armes über 10 Wochen durchgeführt. Es mußten die Fingerbeuger des rechten Unterarmes täglich 5-mal mit maximaler Kraft für je 5 Sek. kontrahiert werden, indem ein Hartgummiball zusammengepresst wurde. Die gestreckten Finger mußten bei festliegendem Unterarm 5-mal mit maximaler Kraft für je 5 Sek. gegen einen nicht nachgebenden Widerstand gedrückt werden. Die Umfänge der Unterarme wurden mit einem Bandmaß an einer definierten und gleichbleibenden Stelle gemessen.

Die Kraft der Fingerbeuger konnte mit einem Metalldynamometer registriert werden, die Kraft der Fingerstrecker mit einer Federwaage. Die Meßwerte wurden in kp angegeben. Aus jeweils 5 hintereinander erfolgten Messungen wurde ein Mittelwert bestimmt.

Die Durchblutungsmessungen an beiden Unterarmen wurden mit der Venenverschlußplethysmographie vorgenommen. Das verwendete Gerät war ein Manschettenplethymograph[1]. Die Registrierung und Auswertung erfolgte nach den von BARBEY (2) und GRAF (13) angegebenen Richtlinien. Registriert wurden an beiden Unterarmen die Ruhedurchblutung (VtR), die reaktive Mehrdurchblutung nach 3 min. arterieller Drosselung (Vts), die Durchblutung sofort nach Belastung (VtB) und die Durchblutung nach Belastung und 3 min. arte-

[1] Hersteller: Firma Boucke, Tübingen.

rieller Drosselung (VtBS). Als Belastung wurden 5 isometrische Kontraktionen von je 5 Sek. Dauer der Streck- und Beugemuskulatur gewählt. Die Angabe der Durchblutung erfolgte wie üblich in ml/100 g Gewebe und Minute.

Zur Bestimmung der Ausgangswerte wurden vor Trainingsbeginn sämtliche Messungen zu 3 verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt. Während des 10-wöchigen Trainings wurden im Abstand von 2 Wochen die Messungen wiederholt. Zur statistischen Auswertung wurden die Untersuchungen nach 2-4, 4-6, 8 und 10 Wochen zusammengefaßt. Die Veränderungen der Werte werden in Prozent ausgedrückt, indem der Ausgangswert und die Messungen am linken Unterarm = 100 % gesetzt werden. Zur Berechnung kam der Wilcoxon-Test zur Anwendung (10).

Ergebnisse

1. Unterarmumfänge

Im untrainierten Zustand war der Unterschied zwischen rechtem und linkem Unterarm nur gering. Der Umfang des trainierten rechten Unterarmes nahm während des Trainings ständig zu, nach 10 Wochen im Mittel um 0,95 cm (Tabelle 1). Der Umfang des nicht trainierten linken Unterarmes veränderte sich nicht wesentlich, im Mittel um 0,10 cm nach 10 Wochen. Die größte Umfangszunahme nach 10 Wochen Training betrug im Einzelfall rechts 1,47 cm, die durchschnittliche wöchentliche Zunahme am trainierten rechten Unterarm 0,33 %. Die jeweilige Zunahme des Umfanges gegenüber dem Ausgangswert zu den einzelnen Messzeiten konnte am trainierten rechten Unterarm statistisch gesichert werden. Die unterschiedliche Zunahme des Umfanges zwischen trainiertem und untrainiertem Unterarm war ebenfalls nach einer Trainingszeit von 4-6, 8 und 10 Wochen mit $2\alpha = < 0{,}01$ signifikant.

2. Kraft der Streckmuskulatur

Die Kraft der Streckmuskulatur der Unterarme nahm auf der trainierten Seite nach 10 Wochen Trainingszeit durchschnittlich um 0,7 kp zu, d.h. um 8,7 % (Tab. 1). Diese Zunahme war für die Messungen nach 4-6, 8 und nach 10 Wochen Training signifikant (Tab. 1). Hierdurch entstand eine unterschiedliche Kraftentwicklung der Fingerstrecker am trainierten und untrainierten Unterarm zu allen Zeitpunkten der Messungen (Abb. 1).

3. Kraft der Beugemuskulatur

Die Kraft der Fingerbeuger nahm am trainierten Unterarm nach 10 Wochen Training durchschnittlich um 0,2 kp zu. Das entspricht einer Zunahme von 2,1 %. Dieser Kraftzuwachs war nach 4-6 und nach 8 Wochen Trainingszeit signifikant zu belegen (Tab. 1).

4. Ruhedurchblutung

Die Ruhedurchblutung betrug vor Beginn der Untersuchungen rechts 3,35 ml/100 g/min und hatte nach 10 Wochen Training um 0,78 ml/100 g/min zugenommen (Tab. 2). Die Durchblutung des linken untrainierten Unterarmes in Ruhe ist im Laufe der 10 wöchigen Trainingszeit von 2,67 um 1,44 ml/100 g/min angestiegen. Diese Zunahme der Ruhedurchblutung war am trainierten Unterarm nach einer Trainingszeit von 4-6 Wochen und am untrainierten Unterarm nach einer Trainingszeit ab der 2. Woche statistisch zu sichern (Tab.2).

5. Reaktive Hyperämie

Die reaktive Mehrdurchblutung nach 3 Minuten arterieller Drosselung betrug vor Beginn der Untersuchungen am rechten Unterarm 22,25 ml/100 g/min und hatte nach 10 Wochen

Trainingszeit um 2,87 ml/100 g/min abgenommen (Tab. 2). Diese Abnahme der reaktiven Mehrdurchblutung gegenüber dem Ausgangswert war am trainierten Unterarm nach 8 und nach 10 Wochen signifikant. Die Durchblutung am linken, untrainierten Unterarm nahm während der 10-wöchigen Trainingszeit im Durchschnitt um 0,80 ml/100 g/min zu (Tab. 2).

6. Durchblutung nach Belastung

Die Durchblutung nach Belastung betrug vor Beginn der Untersuchungen am rechten Unterarm 21,55 ml/100 g/min und hatte nach 10 Wochen Trainingszeit um 2,60 ml/100 g/min abgenommen (Tab. 2). Diese Abnahme der Durchblutung des trainierten Unterarmes war nach 8 und nach 10 Wochen Trainingszeit signifikant zu belegen (Abb. 2). Die Durchblutung am linken Unterarm nahm dagegen während der 10 Wochen Training um 4,35 ml/100 g/min signifikant zu (Tab. 2).

7. Durchblutung nach Belastung und arterieller Drosselung

Die Durchblutung nach Belastung und anschließender 3 Minuten arterieller Drosselung betrug vor Beginn der Untersuchung am rechten Unterarm 26,3 ml/100 g/min und hatte nach 8 und 10 Wochen Trainingszeit am trainierten Unterarm signifikant abgenommen. Die Durchblutung am linken untrainierten Unterarm nahm während der Trainingszeit um 2,75 ml/100 g/min signifikant zu (Tab. 2)..

Besprechung der Ergebnisse

Der Umfang des trainierten Unterarmes hat während des isometrischen Trainings im Mittel kontinuierlich zugenommen, während der Umfang des untrainierten Unterarmes konstant geblieben ist. Dabei zeigen sich schon nach 2-4 Wochen Trainingszeit signifikante Veränderungen.

Die Trainingsform die hier angewendet wurde, basiert auf der Erkenntnis, daß die Muskelhypertrophie infolge Mehrarbeit in der Zeiteinheit zustande kommt, (9, 15 44). MÜLLER fand, daß der Schwellenwert des Trainingsreizes, der die Muskelkraft vermehrt, zwischen 3/10 und 4/10 der maximalen Kraft liegt (39). Mehr als eine Kontraktion täglich erbringt keine besseren Trainingsresultate als eine einmalige Muskelkontraktion pro Tag (24, 39). HETTINGER gibt an, mit einer einmaligen täglichen Muskelkontraktion von 2-3 Sek. Dauer in der Praxis des Tainings auszukommen, um maximale Ergebnisse zu erzielen (22). Um einen sicheren Trainingseffekt zu erreichen, wurden bei den vorliegenden Untersuchungen tägliche Übungen mit 5 Muskelkontraktionen bei maximaler Kraft für 5 Sek. gewählt.

Bei dieser Trainingsform des isometrischen Muskeltrainings ist eine Zunahme der Muskelmasse demnach zu erwarten. DE LORME gibt an, daß seltene Kontraktionen bei hohem Widerstand die Muskelkraft, häufige Kontraktionen bei geringem Widerstand die Ausdauer der Muskulatur erhöhen (8). PETREN ließ Meerschweinchen ein Lauftraining absolvieren und stellte dabei histologisch eine Zunahme der Kapillarenzahl pro cm^2 fest (45, s.a.25). VANNOTTI und PFISTER fanden im Tierversuch eine Volumenzunahme der trainierten Extremität nach 8-10 maligem Training durch Faraday'sche Reizung der Hinterpfote (58).

Eine enge Beziehung zwischen Zunahme der Muskelmasse und Zunahme der Muskelkraft ist bekannt (22, 55). Als Ergebnis des von uns veranlaßten Muskeltrainings nahm die Kraft der Fingerstrecker und der Fingerbeuger des trainierten Unterarmes im Mittel kontinuierlich zu, während die Kraft der untrainierten Unterarmmuskulatur sogar etwas abnahm. Diese Kraftzunahme war insbesondere für die Fingerstrecker signifikant zu belegen. Die nicht so deutliche Zunahme der Beugekraft des trainierten Unterarmes und die Abnahme der Werte am untrainierten Unterarm könnten zum Teil mit methodischen

Schwierigkeiten in Zusammenhang stehen. Das Handdynamometer, ein ovaler scharfrandiger Metallbügel, schnitt bei den Messungen in die Handflächen ein. Die Probanden klagten nach mehreren Messungen über Schmerzen in der Hand. Weiterhin sind auch psychologische Momente zu berücksichtigen, indem zu Beginn der Übungen die Begeisterung für das Neue und Interessante zu höherer Kraftentfaltung anspornte, wie das bei ähnlichen Untersuchungen beobachtet wurde (26). Die geringe Abnahme der Streckerkraft des untrainierten Unterarmes könnte so zu erklären sein.

Die Abnahme sowohl der Kraft der Fingerbeuger als auch der Fingerstrecker des untrainierten Unterarmes steht nicht in Einklang mit den Beobachtungen von HELLEBRANDT und Mitarbeitern, die beim Training der Muskelgruppe einer Körperseite auch eine Kraftzunahme bzw. histologische Veränderungen der entsprechenden Muskelgruppe an der anderen Körperseite fanden (19,20). Diese Ergebnisse wurden als Kreuzungsphänomen beschrieben. KROLL und HETTINGER fanden jedoch bei isometrischem Muskeltraining, so wie es bei den vorliegenden Untersuchungen durchgeführt wurde, keine Hinweise für das Vorliegen eines solchen Kreuzungsphänomens (22, 35).

Der Rechts- Linksvergleich gilt als die beste Methode in der Beurteilung des Erfolges einer Trainingsart (24). In Abb. 1 sind die Kraft der Beuge- und Streckmuskulatur des untrainierten linken Unterarmes = 100 % gesetzt und der Kraftentwicklung der Beuge- und Streckmuskulatur des trainierten Unterarmes gegenübergestellt. Es zeigt sich, daß die Kraft der Fingerstrecker vor Trainingsbeginn am untrainierten Unterarm um 2 % über der des rechten Unterarmes lag. Der Trainingseffekt wird mit einer kontinuierlichen Vermehrung der Kraftentwicklung gegenüber dem untrainierten Arm deutlich. HETTINGER (22) fand beim Training der Unterarmmuskulatur ebenfalls während der ersten 5 Wochen eine geringere Kraftzunahme als in der 6.-10. Woche. Dieses langsame

Ansteigen der Trainingsgeschwindigkeit zu Beginn des Trainings wurde auch von FRIEDEBOLD und STOBOY beobachtet (55).

Die Kraftzunahme der Fingerbeuger war dagegen in den ersten Wochen am deutlichsten (Abb. 1). Für die Fingerbeuger wird eine durchschnittliche wöchentliche Kraftzunahme von 1 % zur Ausgangskraft bei täglichem einmaligen Training bei anderen Untersuchungen angegeben (22). Auch MÜLLER fand in Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen mit Beginn des Trainings sofort eine rasche Kraftentwicklung, die von Woche zu Woche geringer wurde und nach 10-15 Wochen abgeschlossen ist (40).

Die vorliegenden Ergebnisse entsprechen beiden Literaturangaben, wobei die unterschiedlich rasche Kraftentwicklung zwischen Streck- und Beugemuskulatur des Unterarmes nicht zu erklären ist. Für den insgesamt geringen Trainingseffekt scheint die Jahreszeit eine Erklärung zu geben. HETTINGER und MÜLLER fanden ein Minimum der Kraftzunahme der trainierten Muskulatur in den Monaten von November bis Februar, ebenfalls gemessen an den Unterarmbeugern. Zu den übrigen Jahreszeiten war der Kraftzuwachs wesentlich deutlicher (23). Im Januar und Februar wurde auch bei diesen Untersuchungen in der Mehrzahl der Fälle nur eine wöchentliche Kraftzunahme von 0,1-0,5 kp registriert.

Die Durchblutungsmessungen an den Unterarmen erfolgten mit der Manschettenplethysmographie, die auf dem Prinzip der Venenverschlußplethysmographie beruht (2, 4, 13, 21). Mit dieser Methode wird die Haut- und Muskeldurchblutung gemeinsam aufgezeichnet. Es wird darauf hingewiesen, daß durch Arbeit auch die Hautdurchblutung zunimmt und zwar in Abhängigkeit von der Größe der geleisteten Arbeit (37, 50). Von der Unterarmdurchblutng entfallen dabei jedoch weniger als 1/5 auf die Hautdurchblutung (51), sodaß der überwiegende

Anteil einer Durchblutungsveränderung bei unseren Messungen sich in der Muskulatur entwickelt hat.

Die Ruhedurchblutung ist im rechten Unterarm vor Trainingsbeginn wesentlich größer als im linken (Abb. 2). Das zeigt sich auch bei einem der beiden untersuchten Linkshänder. Die Größenordnungen der Messwerte des untersuchten Kollektivs bewegen sich in den Bereichen, die für die Ruhedurchblutung in der Literatur angegeben sind (zit.nach STEINLE):

Barcroft, Bonnar, Edholm, Efferten	(1943): 3,9	ml/100g/min.
Barcroft, Edholm	(1943): 3-4	"
Barcroft, Swan	(1952): 3,8u.4,4	"
Clark, Ginsburg, Hellon	(1958): 4,3	"
Graf, Westersten	(1959): 6-9	"
Greenfield, Patterson	(1954): 2,6	"
Love, Shanks	(1962): 3	"
Patterson, Shepherd	(1954): 1,4-4,5	"
Wallace	(1958): 3,5	"
Steinle	(1965): 4,6	"

Die Ruhedurchblutung hat rechts nach 10 Wochen Trainingszeit um 23,1 % zugenommen. Die Ruhedurchblutung des linken Unterarmes ist im Laufe des 10-wöchigen Trainings sogar um 79,9 % noch wesentlich stärker angestiegen (Tab. 2). Durch die relativ geringe Zunahme der Ruhedurchblutung am trainierten Unterarm erfolgt ein Ausgleich zwischen den Durchblutungsgrößen beider Arme im Verlauf des Trainings (Abb. 2).

Die Steigerung der Ruhedurchblutung während des Trainings an beiden Unterarmen könnte z.T. auf äußere Einflüsse zurückzuführen sein. Eine affektive Beeinflussung der Muskeldurchblutung konnte aber weitgehend ausgeschlossen werden, da die Probanden mit dem Gang der Untersuchung vertraut waren. Außerdem wurden die Messungen der Ruhedurchblutung erst nach einer völligen Ruhelage von mindestens 15 Min. durch-

geführt. Die Raumtemperatur war in den ersten Wochen allerdings niedriger als bei späteren Messungen. Dieser Einfluß auf die Meßwerte ist nicht auszuschließen. Nach SCHROEDER kann der Durchblutungswert einer Extremität durch Abkühlung der Haut allerdings nur gering gesenkt werden (51). Weiterhin sind große individuelle Schwankungen besonders bei Registrierung der Ruhedurchblutung zu beachten. Es handelt sich hierbei um rhythmische Schwankungen der Durchblutung (1), um spontane periodische Druckschwankungen in den Gefäßen (53) und um Einflüsse der Psyche auf die periphere Durchblutung (18).

Inwieweit das Training eines Unterarmes Rückwirkungen auf den Gesamtkreislauf hatte und damit zu einer allgemein verbesserten Extremitätendurchblutung auch in Ruhe führen kann, ist nicht abzuschätzen, muß aber diskutiert werden. Bestimmungen des Blutdruckes, der Herzfrequenz oder des Herzzeitvolumens wurden bei den vorliegenden Messungen nicht durchgeführt.

Auch weist SCHROEDER daraufhin, daß die gesamte Durchblutung einer Extremität in Ruhe nicht als Maß der effektiven Skelettmuskeldurchblutung angesehen werden darf, da schon 0,5 ml/100 g/min zur Versorgung der nichttätigen Muskulatur ausreichen. Der übrige Blutstrom ist kurz geschaltet (52). Nach GOLENHOFEN und HILDEBRANDT besteht zu 50 % eine Überschußdurchblutung der Muskulatur, die erst durch den Ablauf der Drosselungsreaktion erkannt werden kann (14). Da im wesentlichen arterenergische und cholinergische Nervenfasern die Ruhedurchblutung der nutritiven und nichtnutritiven Gefäße regulieren, wird die Messung der reaktiven Mehrdurchblutung nach arterieller Drosselung eine genauere Aussage über die Durchblutungsreserven erlauben.

Zur Erklärung der Zunahme der Ruhedurchblutung können auch Untersuchungen dienen, die eine Neubildung und eine Eröff-

nung von Kapillaranastomosen im trainierten Muskel zeigen (58). VANNOTTI und MAGIDAY fanden bei histologischen Untersuchungen eine erhöhte Anzahl an Kapillaren und Kapillaranastomosen in der trainierten Muskulatur (57). PETREN und Mitarbeiter zeigen ebenfalls eine Zunahme der Kapillarhäufigkeit in der Muskulatur nach täglichem Training (46). Auch weitere Autoren beschreiben eine verstärkte Anastomosenbildung der Kapillaren als Ergebnis des Muskeltrainings (24, 25, 27, 34, 49, 56). Es ist daher anzunehmen, daß die bei den vorliegenden Messungen beobachtete Zunahme der Ruhedurchblutung des trainierten Unterarmes ein Hinweis für die verbesserte Gefäßversorgung bildet.

Weiterhin erscheint es wahrscheinlich, daß Dicke und Gefäßversorgung der Muskelfasern parallel zueinander zunehmen (24). Die Ruhedurchblutung wird dabei weniger gesteigert sein, wenn die neugebildeten oder neu eröffneten Kapillaren in Ruhe nicht durchblutet werden (52). Es ist durch mehrere Untersuchungen bekannt, daß aufgrund einer besseren Ausnutzung der hypertrophierte Muskel in Ruhe weniger Blut beanspruchen kann zur Deckung seines Stoffwechselbedarfs (11, 30, 31, 49, 56). Mit diesem besseren Nutzeffekt (55) der trainierten Muskulatur kann die bei den jetzigen Untersuchungen gefundene geringere Zunahme der Durchblutung des trainierten Muskels in Einklang gebracht werden.

Die reaktive Mehrdurchblutung nach 3 Minuten arterieller Drosselung ist vor Trainingsbeginn im rechten Unterarm um 15 % größer als im linken (Abb. 2). Auch die beiden Linkshänder zeigen dieses Ergebnis. Die Größenwerte der reaktiven Mehrdurchblutung stimmen mit den Angaben in der Literatur überein. STEINLE fand mit der auch von uns verwendeten Manschettenplethysmographie an einem größeren Kollektiv Mittelwerte der reaktiven Hyperämie von 29,4 $\pm$ 8,5 ml/100 g/min (54). COLES und COOPER fanden bei Messungen mit einem wassergefüllten Plethysmographen eine reaktive

Mehrdurchblutung von 25-28 ml/100 g/min bei einer Drosselungsdauer von 5 Minuten (6). Andere Autoren geben eine Mehrdurchblutung nach 3 Minuten arterieller Drosselung um das 4-8-fache des Ruhewertes (29) und das 5-10-fache des Ruhewertes (47) an. GOLENHOFEN und HILDEBRANDT beschreiben das Verhältnis von Ruhedurchblutung zur reaktiven Hyperämie als unterschiedlich (14), die Drosselungsreaktion ist örtlich auf den vorher gedrosselten Bezirk begrenzt.

Im Laufe des Muskeltrainings erfolgt bei der reaktiven Mehrdurchblutung eine Abnahme um insgesamt 14 % (Tab. 2). Da die Mehrdurchblutung am linken Unterarm während der Trainingszeit praktisch gleich bleibt, kommt es von dem höheren Ausgangswert des rechten Unterarmes im Laufe des Trainings zu einem Ausgleich zwischen Durchblutung des linken und rechten Armes (Abb. 2).

Dieses Verhalten zeigt auch die Unterarmdurchblutung nach Belastung. Vor Trainingsbeginn ist sie im rechten Unterarm im Mittel um 39 % größer als im linken. Die Grössenordnung der Durchblutung nach Belastung liegt im Bereich der reaktiven Mehrdurchblutung nach arterieller Drosselung. KALTENBACH und Mitarbeiter fanden ebenfalls nach erschöpfender Muskelarbeit bei Messungen mit der Manschettenplethysmographie eine Steigerung der Durchblutung um das 16-22-fache der Ruhedurchblutung (29). KAINDL und Mitarbeiter zeigten dagegen, daß bei Registrierungen mit der Venenverschlußrheographie nur das 10-fache des Wertes der Ruhedurchblutung nach Belastung auftritt (28). CORCONDILAS und Mitarbeiter fanden, daß der maximale Anstieg der Durchblutung, der durch eine starke kurze Kontraktion verursacht wurde, nur etwa 25 % des Anstieges nach wiederholter rhythmischer Kontraktion betrug (7). Da wir bei unseren Übungen rhythmische Kontraktionen durchführen ließen, dürfte der Durchblutungsanstieg erschöpfend gewesen sein.

Die Verminderung der Durchblutung nach Belastung im trainierten Unterarm geht so weit, daß nach 10 Wochen Trainingszeit im Mittel der Wert am untrainierten Unterarm höher ist (Abb. 2).

Ähnlich verhält sich die Durchblutung nach Belastung und anschließender arterieller Drosselung. Sie ist vor Trainingsbeginn im rechten Unterarm um 19 % größer als im linken Unterarm. Die Größenordnungen der Meßwerte liegen etwas höher als nach alleiniger 3 Minuten arterieller Drosselung und als nach alleiniger Belastung. KALTENBACH und Mitarbeiter berichten über Messungen der reaktiven Hyperämie während gleichzeitiger arterieller Drosselung (sog. ischämische Muskelarbeit), die ebenfalls höher war als die Messung nach Muskelbelastung alleine (29).

Im Verlauf des Trainings erfolgt ebenfalls eine Abnahme dieser Durchblutungsgröße des trainierten Unterarmes und eine Zunahme am untrainierten Unterarm (Tab. 2 und Abb.2). Diese Abnahme der Meßwerte am trainierten Unterarm konnte nach 8 und 10 Wochen statistisch gesichert werden. Auch die Verminderung der Durchblutung war im Seitenvergleich nach 10 Wochen Training signifikant.

Sowohl die reaktive Hyperämie nach arterieller Drosselung, die Mehrdurchblutung nach Belastung und die Mehrdurchblutung nach Belastung und nachfolgender arterieller Drosselung haben im Verlauf des Trainings bei unserem Kollektiv im Mittel abgenommen. Wie der Vergleich mit dem untrainierten linken Unterarm zeigt, bei dem es im Durchschnitt zu einer Vergrößerung dieser Meßwerte kam, können Veränderungen der Raumtemperatur ursächlich nicht in Frage kommen. Nach COLES und COOPER könnte zwar eine Abkühlung des Unterarmes z.B. die reaktive Hyperämie reduziert haben (6), während der vorliegenden Untersuchungen stieg im Laufe der Trainingszeit die Raumtemperatur jedoch an.

Die Abnahme der Durchblutung des trainierten Unterarmes gegenüber dem untrainierten bei gleichzeitiger Zunahme des Unterarmumfanges könnte dadurch bedingt sein, daß die Vaskularisierung des hypertrophierten Muskels in der Trainingszeit von 10 Wochen nachhinkt. Das hätte zur Folge, daß die trainierte Muskulatur schlechter durchblutet wird in diesem Stadium eines Trainings.

Untersuchungen der Trainingsfolgen auf den Muskelstoffwechsel machen jedoch wahrscheinlich , daß infolge einer Umstellung des Metabolismus ein geringerer Blutbedarf entsteht.

GOLENHOFEN und HILDEBRANDT beschreiben, daß die Sauerstoffschuld nach einer arteriellen Drosselung durch eine verbesserte Sauerstoffausschöpfung gedeckt werden kann (14). Da außerdem RATSCHOW (47) die reaktive Hyperämie als Antwort auf den Sauerstoffmangel darstellt, dem sie in ihrer Stärke direkt proportional ist, wird eine verbesserte periphere Sauerstoffausnutzung des trainierten Muskels eine geringere reaktive Hyperämie auslösen.

REINDELL konnte bei Sportlern eine bessere periphere Sauerstoffausnutzung feststellen (49). Auch JORDI (27) beobachtete, daß der trainierte Muskel rascher oxydiert und seine Reservebestände besser zu schonen vermag als der untrainierte. Nach HOLLMANN (25) erfolgt die kurz nach Arbeitsanfang einsetzende Sauerstoffmehraufnahme beim Trainierten rascher als beim Untrainierten. Auch nach Beendigung der Arbeit normalisiert sich der Sauerstoffwechsel des Trainierten schneller als der des Untrainierten (25). Andere Untersuchungen zeigen, daß bei rhythmischer isometrischer Bewegung des Vorderarmes die Durchblutung und die Sauerstoffaufnahme in linearer Proportion zu den Spitzenspannungen der Muskulatur stehen, während die Sauerstoffsättigung in den tiefen Unterarmvenen unverändert bleibt (59). Die arterio-

venöse Sauerstoffdifferenz nimmt also nicht zu. Der Sauerstoffverbrauch der arbeitenden Muskulatur nimmt im Verlauf eines Trainings ab (27).

Die nachgewiesene Abnahme der Durchblutung nach arterieller Drosselung und Belastung kann mit einer Verringerung des Sauerstoffverbrauches und einer besseren Sauerstoffausnutzung als Folge eines Trainingseffektes erklärt werden. Weitere Untersuchungen des Stoffwechsels der trainierten Muskulatur haben Ergebnisse aufgezeigt, mit denen sich ebenfalls ein verminderter Blutbedarf eines trainierten Muskels erklären läßt.

Bei der reaktiven Mehrdurchblutung gilt, daß mit zunehmender Drosselungsdauer die dilatierenden lokalchemischen Mechanismen die mechanischen Faktoren verdrängen (14, 47, 48). Die Höhe der eingegangenen Stoffwechselschuld ist für die Größe der reaktiven Hyperämie vor allem verantwortlich (14). Eine Abnahme der reaktiven Hyperämie des trainierten Unterarmes sowie der Durchblutung nach Belastung wird daher bedeuten, daß die Stoffwechselschuld sich verringert hat, da entweder größere Reserven vorhanden sind oder eine bessere Ausnutzung gewährleistet ist.

KEUL und Mitarbeiter fanden dann auch nach einem Intervalltraining eine Steigerung der Glykolyse und einen vermehrten Glykogenabfall im trainierten Muskel (30). Es stellt sich also eine Zunahme der anaeroben Energiebereitstellung ein. DOLL und Mitarbeiter beobachteten bei Sportlern unter Belastung einen geringeren Abfall der Wasserstoffionenkonzentration, des Standardbikarbonats und des Basenüberschusses im arteriellen Blut als bei Untrainierten (11). Auch die Milchsäure und Brenztraubensäure steigen im venösen Blut bei Sportlern nach einer Belastung nicht so schnell an, da die gesteigerte Glykolyse eine positive Wirkung auf die Ausbildung der glykolytischen Enzymkette ausübt (30).

HOLLMANN (25) beschreibt eine Zunahme der energetischen Reserve der Muskulatur als Trainingseffekt. Und PALLADIN und FERDMANN fanden schon nach 5 Tagen Training einer Ratte im Laufstall eine eindeutige Vermehrung des Gehaltes der Muskulatur an Kreatininphosphat und Adenosintriphosphat (43). Auch EMBDEN und HABS wiesen nach einem Muskeltraining die 2-3-fache Menge an Glykogen in der Muskulatur nach (12). BRUMAN und JENNY beobachteten als Trainingseffekt eine Umstellung des Kaliumgehaltes der Muskelzellen, indem der trainierte Muskel seinen Kaliumvorrat tiefer ausschöpfen kann (5). Zu gleichen Ergebnissen führen Untersuchungen von NÖCKER (42). Ebenfalls wird beschrieben, daß der Oxydasegehalt und die Fermentaktivität im trainierten Muskel vermehrt ist (16).

Von den zitierten Autoren werden die dargestellten Ergebnisse der Stoffwechseluntersuchungen eines trainierten Muskels als Ökonomisierung aufgefaßt. Die Gründe für diese Stoffwechselumstellung und damit auch für die Umstellungen der Durchblutung der Muskulatur sind noch unklar. Für den Gesamtorganismus wird als Trainingseffekt eine Verbesserung der Koordination der einzelnen Muskelgruppen und der innervatorischen Verhältnisse angenommen (27). HAUCH und Mitarbeiter verstehen unter einer Ökonomisierung eine neuralgesteuerte Belastungskoordination, ein Einspielen auf zweckmäßigere und vollkommener Bewegungsabläufe, wodurch es vor allem zu einem günstigeren Arbeitsrhythmus kommt (17). Es wird aber offengelassen, ob der beobachtete verminderte Sauerstoffverbrauch bei längerem Training nicht allein auf einem größeren Wirkungsgrad der Muskelkontraktion und damit auf direkten Umstellungen im Muskelstoffwechsel beruht.

Zusammenfassung:

Bei 21 männlichen Versuchspersonen wurde ein isometrisches Muskeltraining der Fingerstrecker und Fingerbeuger des rechten Unterarmes über 10 Wochen durchgeführt. Die dabei aufgetretenen Veränderungen der Ruhedurchblutung, der reaktiven Mehrdurchblutung, der Durchblutung nach Belastung und der Durchblutung nach Belastung und anschließender arterieller Drosselung wurden mit einem Manschettenplethysmographen untersucht.

Es fand sich am trainierten Unterarm eine Zunahme des Umfanges sowie eine gesteigerte Kraftentwicklung der Streck- und Beugemuskulatur im Verlauf des Trainings. Zum Teil signifikante Veränderungen ergaben sich bei den Durchblutungsmessungen. Am trainierten Unterarm kam es zu einer relativen Abnahme der Ruhedurchblutung und zu einer absoluten Verminderung der Mehrdurchblutung nach arterieller Drosselung und Arbeitsbelastung. Zur Erklärung wird angenommen, daß infolge einer Ökonomisierung mit besserer Ausschöpfung der Stoffwechselvorgänge der trainierte Muskel einen verminderten Blutbedarf hat.

Mittelwert ($\bar{x}$) und mittlerer Fehler des Mittelwertes ($s_{\bar{x}}$) der Unterarmumfänge und der Kraft der Unterarmmuskulatur während des 10-wöchigen Trainings.
Ausgangswerte vor Trainingsbeginn = 100 %.
Unten: Ergebnisse der Signifikanzprüfungen der prozentualen Veränderungen nach dem Wilcoxontest.

		Umfang (cm)				Kraft der Strecker (kp)				Kraft der Beuger (kp)			
		rechts	%	links	%	rechts	%	links	%	rechts	%	links	%
A	Vor Trainingsbeginn	26,85 ±0,29	100	26,35 ±0,29	100	8,29 ±0,21	100	8,43 ±0,23	100	9,20 ±0,29	100	8,35 ±0,32	100
B	Nach 2-4 Wochen	27,10 ±0,30	101,25	26,45 ±0,27	100,6	8,54 ±0,26	102,92	8,35 ±0,25	99,16	9,25 ±0,39	100,23	7,90 ±0,33	95,08
C	Nach 4-6 Wochen	27,40 ±0,31	102,32	26,45 ±0,27	100,7	8,66 ±0,24	104,49	8,36 ±0,25	99,18	9,35 ±0,32	101,73	8,05 ±0,41	96,19
D	Nach 8 Wochen	27,50 ±0,31	102,68	26,45 ±0,29	100,6	8,97 ±0,23	108,36	8,30 ±0,24	98,70	9,45 ±0,37	102,66	7,75 ±0,37	97,63
E	Nach 10 Wochen	27,80 ±0,30	103,33	26,45 ±0,28	100,6	8,99 ±0,25	108,71	8,25 ±0,25	97,99	9,40 ±0,34	102,16	8,03 ±0,35	96,47
	Signifikanz:	AB: 2α	<0,01	AB:	-	AB: 2α	<0,02	AB:	-	AB:	-	AB: 2α	<0,02
		AC: 2α	<0,01	AC:	-	AC: 2α	<0,01	AC:	-	AC: 2α	<0,02	AC: 2α	<0,02
		AD: 2α	<0,01	AD:	-	AD: 2α	<0,01	AD:	-	AD: 2α	<0,02	AD:	-
		AE: 2α	<0,01	AE:	-	AE: 2α	<0,01	AE: 2α	<0,10	AE:	-	AE: 2α	<0,10

Tabelle 1: Veränderungen der Umfänge und der Kraft der Strecker und der Beuger des Unterarms.

Mittelwert ($\bar{x}$) und mittlerer Fehler des Mittelwertes ($s_{\bar{x}}$) der Ruhedurchblutung, der reaktiven Hyperämie, der Durchblutung nach Belastung und bei reaktiver Hyperämie nach Belastung während des 10-wöchigen Trainings.
Ausgangswerte vor Trainingsbeginn = 100 %.
Unten: Ergebnisse der Signifikanzprüfungen der prozentualen Veränderungen nach dem Wilcoxontest.

		Ruhedurchblutung V_{tR}				Reaktive Hyperämie V_{tS}				Durchblutung nach Belastung V_{tB}				Reaktive Hyperämie nach Belastung V_{tSB}			
		rechts	%	links	%	rechts	%	links	%	rechts	%	links	%	rechts	%	links	%
A	Vor Trainingsbeginn	3,35 ±0,22	100	2,67 ±0,26	100	22,25 ±0,87	100	19,70 ±0,93	100	21,55 ±1,40	100	15,45 ±1,01	100	26,30 ±1,17	100	21,65 ±0,97	100
B	Nach 2-4 Wochen	4,06 ±0,46	125,1	3,78 ±0,41	160,9	21,85 ±1,10	98,7	19,35 ±0,86	100,2	22,50 ±1,39	108,5	19,40 ±1,45	126,7	26,60 ±1,50	103,2	25,20 ±1,64	113,4
C	Nach 4-6 Wochen	4,63 ±0,64	138,4	4,42 ±0,64	173,4	21,50 ±1,23	97,1	18,30 ±1,07	94,4	20,15 ±1,71	100,3	17,60 ±1,35	113,2	25,75 ±1,44	101,9	21,40 ±1,34	95,5
D	Nach 8 Wochen	3,91 ±0,52	116,9	4,10 ±0,57	163,1	19,85 ±1,31	88,9	19,50 ±0,99	99,6	18,25 ±1,46	86,5	17,75 ±1,59	114,5	23,00 ±1,47	91,1	22,15 ±1,49	96,5
E	Nach 10 Wochen	4,13 ±0,51	123,1	4,11 ±0,57	179,9	19,38 ±1,31	85,9	18,90 ±0,99	99,0	18,95 ±1,46	89,4	19,80 ±1,59	122,5	23,45 ±1,47	89,8	24,40 ±1,49	109,5
Signifikanz:		AB:	-	AB: 2α	$<0,02$	AB:	-	AB:	-	AB:	-	AB:	-	AB:	-	AB:	-
		AC: 2α	$<0,02$	AC: 2α	$<0,01$	AC:	-	AC:	-	AC:	-	AC:	-	AC:	-	AC:	-
		AD:	-	AD:	-	AD: 2α	$<0,01$	AD:	-	AD: 2α	$<0,01$	AD:	-	AD: 2α	$<0,02$	AD:	-
		AE:	-	AE:	-	AE: 2α	$<0,01$	AE:	-	AE: 2α	$<0,10$	AE: 2α	$<0,01$	AE: 2α	$<0,10$	AE: 2α	$<0,05$

Tabelle 2: Veränderungen der Ruhedurchblutung, der reaktiven Hyperämie, der Durchblutung nach Belastung und der reaktiven Hyperämie nach Belastung.

Seitenvergleich der Veränderungen von Umfang und Kraft zwischen trainiertem und untrainiertem Unterarm.
Untrainierter Unterarm = 100 %.
Unten: Ergebnisse der Signifikanzprüfungen der Veränderungen des Seitenvergleichs im Laufe des Trainings nach dem Wilcoxontest.

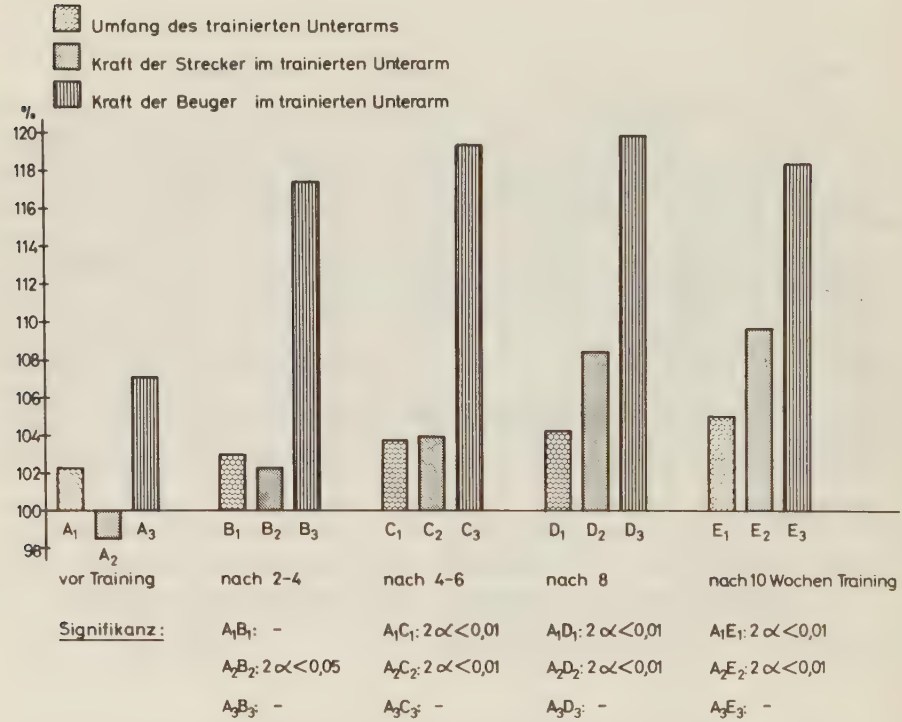

Abbildung 1: Veränderungen des Seitenvergleichs von Umfang und Kraft zwischen trainiertem und untrainiertem Unterarm.

Seitenvergleich der Veränderungen von Ruhedurchblutung, reaktiver Hyperämie, Durchblutung nach Belastung und reaktiver Hyperämie nach Belastung zwischen trainiertem und untrainiertem Unterarm.
Untrainierter Unterarm = 100 %.
Unten: Ergebnisse der Signifikanzprüfungen der Veränderungen des Seitenvergleichs im Laufe des Trainings nach dem Wilcoxontest.

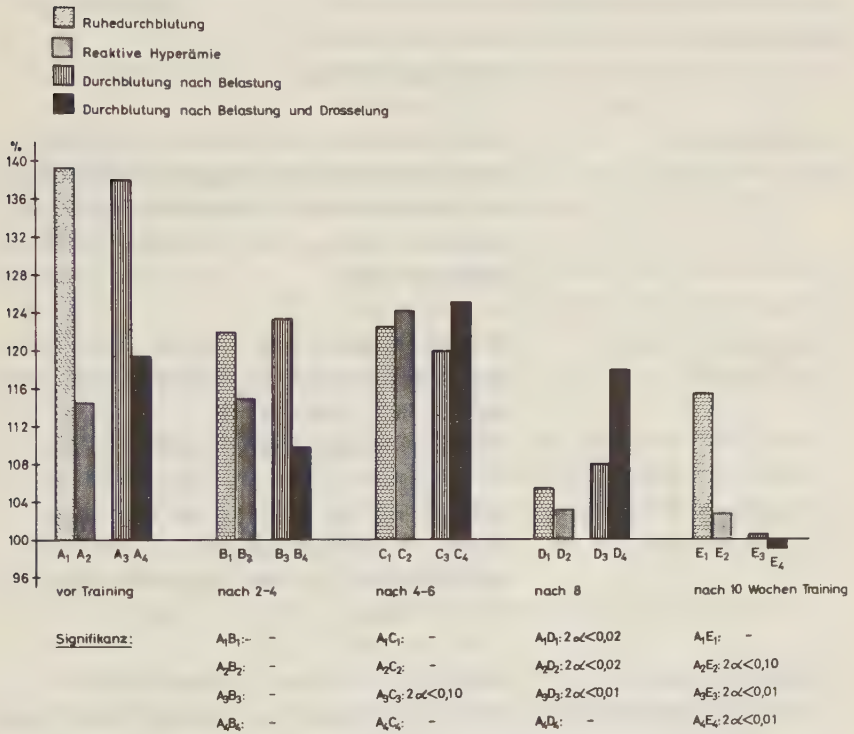

Abbildung 2: Veränderungen des Seitenvergleichs von Ruhedurchblutung, reaktiver Hyperämie, Durchblutung nach Belastung und reaktiver Hyperämie nach Belastung.

L I T E R A T U R

1) BARCROFT, H., BONNAR, W.M., EDHOLM, O.G. and A.S. EFFERTEN: On sympathetic vasoconstrictor tone in human skeletal muscle. J.of Physiol. 102, 21 (1943).

2) BARBEY, K. und P. BARBEY: Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung. Zschr.Kreisl.Forsch.52, 1129 (1963).

3) BOCK, H.E.: Arzt und Sport. Studium Generale 13, 69 (1960).

4) BOCK, K.D.: Die Verfahren zur Beurteilung der Extremitätendurchblutung des Menschen. Bad Oeynhausener Gespräche VI.(1962), Springer Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 1964.

5) BRUMAN, F. und F. JENNY: Untersuchungen zum Studium des Trainiertseins. Trainingszustand und Kaliumgehalt der Muskulatur. Arbeitsphysiol. 9, 147 (1936).

6) COLES, D.R. and K.E. COOPER: The effect of cooling on the hyperaemia following arterial occlusion and exercise in the human forearm. J.of Physiol. 136, 35 (1957).

7) CORCONDILAS, A., G.T. KOROXENIDIS and J.T. SHEPHERD: Effect of a brief contraction of forearm muscles on forearm blood flow. J.of Appl.Physiol.19, No.1 (1964).

8) DELORME, Th.L: Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. J.of Bone a.Joint Surg. 43,645 (1945).

9) DARCUS, H.D. and N. SALTER: The effect of repeated muscular exertion on muscle strength. J.of Physiol. 129, 325 (1955).

10) Documenta Geigy: Wissenschaftliche Tabellen. 6. Aufl. Herausg. J.R. Geigy AG.

11) DOLL, E., J. KEUL, Chr.MAIWALD und H. REINDELL: Das Verhalten von Sauerstoffdruck, Kohlensäuredruck, pH, Standardbicarbonat und base excess im arteriellen Blut bei verschiedenen Belastungsformen. Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 22, 327 (1966).

12) EMBDEN, G. und H. HABS: Beitrag zur Lehre vom Muskeltraining. Scand.Arch.Physiol. 49,122 (1926).

13) GRAF, K.: Auswertung und Meßfehler okklusionsplethysmographischer Durchblutungsregistrierungen. Acta Physiol.Scand. 60, 120 (1964).

14) GOLENHOFEN, K. und G. HILDEBRANDT: Die Reaktion der menschlichen Muskelgefäße auf Durchblutungsdrosselung. Pflüg.Arch. 264, 492 (1957).

15) GROH, H.: Sportmedizin. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1962 S. 38.

16) GUKELBERGER, M. und E.KEISER: Der Einfluß des Muskeltrainings auf den Indophenolblauoxydasegehalt der quergestreiften Muskulatur. Arbeitsphysiol. 10, 94 (1938).

17) HAUCH, H.-J., T. STEPHAN und M. NITSCHKE: Die Wirkung dosierten Trainings am Ergometer auf das ventilatorische und zirkulatorische System. Arch.Kreisl.Forsch. 52, 128 (1966).

18) HEIDELMANN, G., H. ENGER und H. KROSCH: Ueberdruckplethysmographie am menschlichen Finger. Zschr.Kreisl.Forsch. 43, 234 (1954).

19) HELLEBRANDT, F.A.: Ipsilateral and contralateral effects of unimanual training. J.of Appl.Physiol. 4, 136 (1951).

20) HELLEBRANDT, F.A., A.M. PARRISH and S.J. HOUTZ: Gross education. The influence of unilateral exercise on the contralateral limb. Arch.Phys.Med. 28, 76 (1947).

21) HENSEL, H.: Die Messung der Muskeldurchblutung am Menschen. Klin.Woschr. 34, 1223 (1956).

22) HETTINGER, Th.: Isometrisches Muskeltraining. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 3. Aufl. 1968.

23) HETTINGER, Th. und E.A. MÜLLER: Die Trainierbarkeit der Muskulatur im jahreszeitlichen Verlauf. Arbeitsphysiol. 16, 90 (1955).

24) HETTINGER, Th. und E.A. MÜLLER: Muskelleistung und Muskeltraining. Arbeitsphysiol. 15, 111 (1953).

25) HOLLMANN, W.: Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung. Kreislauf-Bücherei 17, 116 (1959).

26) IKAI, M. and A.H. STEINHAUS: Some factors modifying the expression of human strength. J.of Appl.Physiol.16, 157 (1961).

27) JORDI, A.: Untersuchungen zum Studium des Trainiertseins. 1. Mitteilung: Ruheumsatz und Arbeitsstoffwechsel. Arbeitsphysiol. 7, 2 (1933).

28) KAINDL, F.,K. POLZER, F. SCHUHFRIED und B. TISO: Quantitative Durchblutungsmessung in Ruhe unter Belastung mit Hilfe der Venenverschlußrheographie. Zschr.Kreisl.Forsch. 55, 795 (1966).

29) KALTENBACH, M., K.-L. MARTIN und W. HENGST: Durchblutungsmessungen am Unterschenkel gesunder Versuchspersonen in Ruhe, nach arterieller Drosselung während und nach Muskelarbeit mit Hilfe von Verstärkeroszillographie, Venenverschlußplethysmographie und Gewebsclearance von $Xenon^{133}$. Klin.Woschr. 46, 238 (1968).

30) KEUL, J., E. DOLL, D. KEPPLER und H. REINDELL: Zur Bedeutung der Laktatbildung bei Intervalltraining. Zschr.Kreisl.Forsch.56, 823 (1967).

31) KEUL, J., E. DOLL, D. KEPPLER und H. REINDELL: Veränderungen arterieller Substratspiegel bei körperlicher Arbeit. Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 22, 356 (1966).

32) KJELLMER, I.: The effect of exercise on the vascular bed of skeletal muscle. Acta Physiol.Scand. 62, 18 (1964).

33) KÖNIG, K.,J. MURUKAS, H.ROSKAMM und H. REINDELL: Das Verhalten von Atemvolumen und Atemfrequenz in Ruhe und bei Ergometerbelastung bei Jugendlichen sowie bei trainierten und untrainierten Erwachsenen. Sportarzt u.Sportmed.16,395 (1965).

34) KROGH, A.: Anatomie und Physiologie der Capillaren. Springer Verlag, Berlin 1929, 2.Aufl.

35) KROLL, W.: Isometric cross-transfer effects under conditions of central facilitation. J.of Appl.Physiol. 20,297 (1965).

36) LINZBACH, A.J.: Mikrometrische und histologische Analyse hypertropher menschlicher Herzen. Virchows Arch.path.Anat.314,534 (1947).

37) MELCHIOR, H. und G. HILDEBRANDT: Die Hautdurchblutung verschiedener Körperregionen bei Arbeit. Plüg.Arch. 289, R 24 (1966).

38) MELLEROWICZ, H.: Vergleichende Untersuchungen über das Ökonomieprinzip des trainierten Kreislaufs und seine Bedeutung für die preventive und rehabilitive Medizin. Arch.Kreisl.Forsch.24, 70 (1956).

39) MÜLLER, E.A: Erhaltung und Erhöhung der normalen Muskelkräfte. Klin.Woschr. 35, 701 (1957).

40) MÜLLER, E.A.: Die Beeinflussung der Muskelkraft durch isometrische Kontraktionen. Münch.med.Wschr. 103, 341 (1961).

41) MORPURGO, B.: Über Aktivitätshypertrophie der willkürlichen Muskeln. Virchows Arch.path.Anat.150,522 (1897).

42) NÖCKER, J.: Energiestoffwechsel und Ernährung bei körperlicher Leistung. Dtsch.Z.Verdauungskrh. 14,59 u.145(1954).

43) PALLADIN, A. and D.FERDMANN: The influence of muscle training on creatine content. Z.Physiol.Chem. 174, 284 (1928).

44) PETOW, H. und W. SIEBERT: Studien über Arbeitshypertrophie des Muskels. Z.klin.Med. 102, 427 (1925).

45) PETREN, T : Die totale Anzahl der Blutkapillaren im Herzen und Skelettmuskulatur bei Ruhe und nach langer Muskelübung. Anat.Anzeiger 81, 165 (1935/36).

46) PETREN, T., T.SJÖSTRAND und B. SYLVEN: Der Einfluß des Trainings auf die Häufigkeit der Capillaren in Herz- und Skelettmuskulatur. Arbeitsphysiol. 9, 376 (1937).

47) RATSCHOW, M.: Angiologie, Pathologie, Klinik und Therapie der peripheren Durchblutungsstörungen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1959.

48) REIN, H. und M. SCHNEIDER: Die Auswirkung künstlicher Mangeldurchblutung auf den lokalen Stoffwechsel. Pflüg.Arch.239,451 (1938).

49) REINDELL, H.: Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport. J.Ambros.Barth, München, 1960.

50) RIEKERT, H.: Plethysmographische Bestimmung des Blutzeitvolumens der Finger. Med. Welt 17, 1580 (1966).

51) SCHROEDER, W.: Beschreibung und Ergebnisse einer neuen Methodik zur quantitativen Durchblutungsmessung der Extremitätenmuskulatur.
Z.exp.Med. 137, 1 (1963).

52) SCHROEDER, W.: Nutritive und nicht-nutritive Skelettmuskeldurchblutung.
Arch.Kreisl.Forsch. 49, 36 (1966).

53) STEIN, E.: Die spontane vasomotorische Aktivität der peripheren Strombahn des Menschen.
Zschr.Kreisl.Forsch. 43, 73 (1954).

54) STEINLE, H.: Plethysmographische Messung der Extremitätendurchblutung bei kreislaufgesunden Versuchspersonen.
Dissertation, Tübingen 1965.

55) STOBOY, H. und G. FRIEDEBOLD: Aktuelle Umfangsänderungen des Skelettmuskels und elektrische Aktivität während eines isometrischen Trainings.
Sportarzt u.Sportmed. 16, 205 (1965).

56) VANNOTTI, A: Die Capillarisierung und die Ernährung des Herzens und der großen Gefäße unter normalen und pathologischen Bedingungen.
Z.exp.Med. 99, 158 (1936).

57) VANNOTTI, A. und M. MAGIDAY: Über die Capillarisierung der trainierten Muskulatur.
Arbeitsphysiol. 7, 615 (1934).

58) VANNOTTI, A. und H. PFISTER: Die Blutversorgung des ruhenden Muskels am trainierten Tiere.
Arbeitsphysiol. 7, 127 (1934).

59) WAHREN, J.: Quantitative aspects of blood flow and oxygen uptake in the human foream during rhythmic exercise.
Acta Physiol.Scand. 67, 269 (1966).

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. H.E. Bock, dem Direktor der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen, für die Erlaubnis, an seiner Klinik die Untersuchungen für die vorliegende Dissertation durchzuführen.

Besonders danke ich meinem Doktor-Vater, Herrn Professor Dr. E. Stein, für die freundliche Überlassung des Themas, die Beratung und die kritische Durchsicht der Arbeit.

Herrn Dr. K. Caesar, dem Wissenschaftlichen Assistenten der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen danke ich für die Betreuung während der Abwesenheit von Herrn Prof. Dr. E. Stein.

Lebenslauf

Am 15. Dezember 1942 wurde ich, Manfred Karl Neher, in Buchau am Federsee als Sohn des Zahnarztes Dr. med. dent Anton Neher und seiner Ehefrau Rosa, geb. Bosch, geboren. Ich besuchte in Buchau ab 1949 die Grundschule und von 1953 bis 1959 das Progymnasium Buchau bis zur mittleren Reife. Ab 1959 war ich Schüler des Mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweiges des Gymnasiums in Ehingen/Donau, wo ich 1962 das Abitur ablegte.
Mein Medizinstudium begann ich anschließend in Tübingen. 1963 bestand ich dort die naturwissenschaftliche, im Herbst 1964 die ärztliche Vorprüfung. Die beiden ersten klinischen Semester studierte ich an der Freien Universität Berlin, die restlichen 4 klinischen Semester in Tübingen. Dort legte ich am 13. Februar 1968 das Staatsexamen ab.